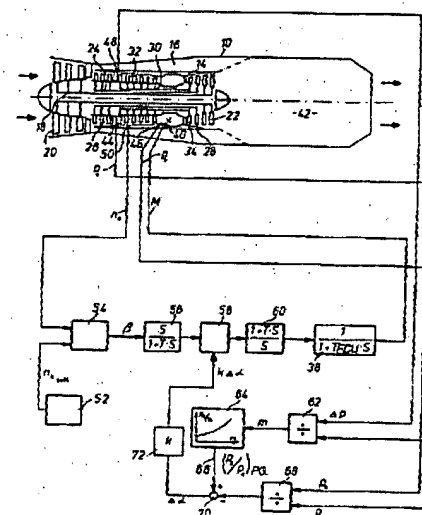


Apparatus for controlling the rotary speed in turbo-jet engines for aircraft

Patent number: US4217754
Publication date: 1980-08-19
Inventor: SCHMIDT-ROEDENBECK HEINER (DE); WUST PETER (DE); WELLERN WILFRIED (DE)
Applicant: BODENSEEWERK GERAETETECH (DE)
Classification:
- **international:** F02C9/04
- **european:** F02C9/28; F02C9/32
Application number: US19790048690 19790614
Priority number(s): US19790048690 19790614; DE19772702564 19770122; US19770853350 19771121

Abstract of US4217754

A control device produces a control deviation signal representing the difference between the commanded engine speed and the actual engine speed. Before this signal is applied to a fuel control unit to establish the rate of fuel flow to the engine, its time derivative is limited to a value substantially proportional to the distance that the operating state of the engine is from the surge line. In one embodiment the control deviation signal is differentiated with a lag corresponding to the lag of the fuel control unit before effecting said limiting and, after said limiting is effected, is integrated with a lead corresponding to said lag.



Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

THIS PAGE BLANK (USPTO)

Family list**5** family members for:**DE2702564**

Derived from 3 applications.

[Back to DE2702564](#)

- 1** **AIRCRAFT ENGINE SPEED CONTROL APPARATUS**
Publication info: DE2702564 A1 - 1978-07-27
DE2702564 B2 - 1979-06-21
DE2702564 C3 - 1980-02-21
- 2** **AIRCRAFT ENGINE SPEED CONTROL APPARATUS**
Publication info: GB1566015 A - 1980-04-30
- 3** **Apparatus for controlling the rotary speed in turbo-jet engines for aircraft**
Publication info: US4217754 A - 1980-08-19

Data supplied from the *esp@cenet* database - Worldwide

THIS PAGE BLANK (USPTO)

51

Int. Cl. 2:

F 02 C 9/04

2

19 BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

DEUTSCHES PATENTAMT



11

Auslegeschrift 27 02 564

21

Aktenzeichen: P 27 02 564.5-13

22

Anmeldetag: 22. 1. 77

43

Offenlegungstag: 27. 7. 78

44

Bekanntmachungstag: 21. 6. 79

51

Unionspriorität:

52 53 51

54

Bezeichnung: Vorrichtung zur Drehzahlregelung bei Gasturbinenstrahltriebwerken für Flugzeuge

71

Anmelder: Bodenseewerk Gerätetechnik GmbH, 7770 Überlingen

72

Erfinder: Schmidt-Roedenbeck, Heiner, Dipl.-Ing.; Wüst, Peter, Dipl.-Ing.; 7770 Überlingen; Wellern, Wilfried, Dipl.-Ing., 7772 Uhldingen

56

Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:

DE-OS 22 05 445

Cohen - Rogers - Saravanamuttoo: Gas

Turbine Theory, London, S. 111-114

DE 27 02 564 B 2

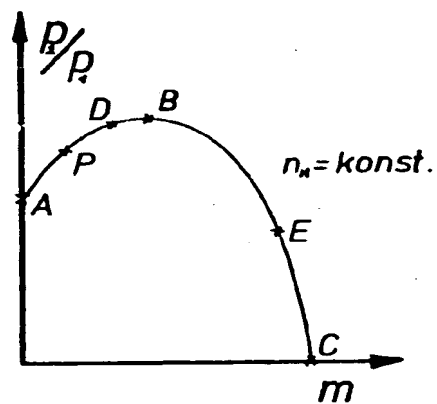


Fig. 1

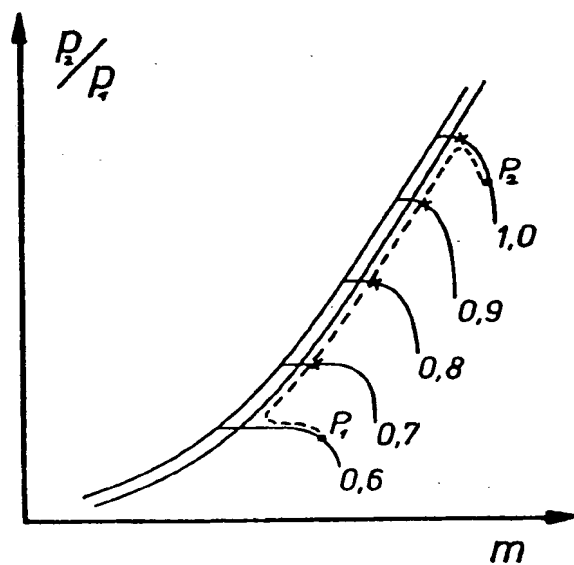


Fig. 2

Patentansprüche:

1. Vorrichtung zur Drehzahlregelung bei Gasturbinenstrahltriebwerken für Flugzeuge, enthaltend:

- einen Drehzahlfühler, der ein die Drehzahl des Verdichters, bei mehrwelligen Triebwerken die Drehzahl des Hochdruckverdichters des Strahltriebwerkes wiedergebendes Drehzahlsignal liefert,
- einen Sollwertgeber, der ein eine Solldrehzahl wiedergebendes Sollwertsignal liefert,
- einen Regler, der von dem Drehzahlsignal und von dem Sollwertsignal beaufschlagt und zur Erzeugung eines Regelabweichungssignals eingerichtet ist,
- eine Brennstoffzumeßeinheit, welche durch das Regelabweichungssignal steuerbar ist, zur Zumeßung einer dem Strahltriebwerk zugeführten Brennstoffmenge,
- einen Druckverhältnisgeber zur Erzeugung eines Druckverhältnissignals, welches das Druckverhältnis des Ausgangs- und des Eingangsdrucks am Verdichter bzw. am Hochdruckverdichter wiedergibt,
- einen Massedurchsatzfühler zur Erzeugung eines den Massedurchsatz des Strahltriebwerkes wiedergebenden Massedurchsatzsignals,
- einen Funktionsgeber, der die Pumplinie des Strahltriebwerkes oder eine in einem Sicherheitsabstand von dieser verlaufenden Pumplinien-Grenzkurve als Grenzdruckverhältnissignal in Abhängigkeit von dem Massedurchsatzsignal liefert, und
- signalbegrenzende Mittel zwischen Regler und Brennstoffzumeßeinheit, die eine Signalbegrenzung nach Maßgabe des sich als Differenz des Grenzdruckverhältnissignals und des Druckverhältnissignals ergebenden Pumplinienabstandes bewirkt,

dadurch gekennzeichnet, daß die signalbegrenzenden Mittel (58) die Zeitableitung (M) der durch die Brennstoffzumeßeinheit (38) zugemessenen Brennstoffmenge (M) auf einen dem Pumplinienabstand ($\Delta\alpha$) im wesentlichen proportionalen Wert ($k \Delta\alpha$) begrenzen.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Reglerausgangssignal (β) verzögert differenziert und anschließend mit einem dieser Verzögerung entsprechenden Vorhalt integriert auf die Brennstoffzumeßeinheit (38) aufgeschaltet ist, daß das Zeitverhalten der Verzögerung gleich dem Zeitverhalten der Brennstoffzumeßeinheit (38) gewählt wird, und daß die signalbegrenzenden Mittel (58) eine Begrenzung des besagten verzögert differenzierten Reglerausgangssignals (β) bewirken.

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Drehzahlregelung bei Gasturbinenstrahltriebwerken für Flugzeuge gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Bei einem einwelligen Strahltriebwerk sitzen auf einer Welle hintereinander ein Verdichter mit mehreren Kränzen von Schaufeln und eine Turbine. Zwischen Verdichter und Turbine ist eine Brennkammer gebildet, in welche von einer Brennstoffzumeßeinheit eine

zugemessene Brennstoffmenge kontinuierlich eingeleitet wird. Durch den Verdichter erfolgt eine Verdichtung der von vorn angesaugten Luft, wobei sich diese Luft erwärmt. In diese verdichtete und erwärmte Luft wird in der Brennkammer der Brennstoff eingespritzt und gezündet. Die dabei erzeugten heißen Treibgase werden über eine Düse mit hoher Geschwindigkeit hinten aus dem Strahltriebwerk ausgestoßen und erzeugen den Schub des Strahltriebwerkes. Die Energie zum Antrieb des Verdichters wird dabei durch die Turbine dem Treibgasstrom entnommen. Zur besseren Anpassung an die verschiedenen Betriebszustände sind mehrwellige Strahltriebwerke bekannt, die eine innere Welle und eine oder zwei als Hohlwellen ausgebildete und die innere Welle koaxial umgebende äußere Wellen enthalten. Auf jeder Welle sitzt ein Verdichter vor der Brennkammer und eine diesen Verdichter antreibende Turbine hinter der Brennkammer. Die Verdichter sind dabei axial hintereinander angeordnet und ebenso sitzen — in umgekehrter Reihenfolge — die zugehörigen Turbinen axial hintereinander. Jeder Verdichter wird dabei durch die zugehörige Turbine mit der für ihn wenigstens annähernd optimalen Drehzahl angetrieben. Die Drehzahlregelung eines solchen Strahltriebwerkes bietet gewisse Schwierigkeiten.

Durch die Trägheit des umlaufenden Triebwerkrotors ändert sich die Drehzahl des aus Verdichter, Welle und Turbine gebildeten Triebwerkrotors nur relativ langsam im Vergleich zu den durch Eingriffe oder Störungen hervorgerufenen Änderungen der Drücke, Temperaturen und des Massedurchsatzes, d. h. der durch den Verdichter geförderten Luftmenge. Wenn die Drehzahl des Strahltriebwerkes erhöht werden soll und dementsprechend eine Erhöhung der zugemessenen Brennstoffmenge erfolgt, so bewirkt diese Erhöhung zwar eine sofortige Druckerhöhung in der Brennkammer, aber zunächst noch keine entsprechende Erhöhung der Drehzahl. Der Verdichter arbeitet somit mit zunächst unveränderter Drehzahl gegen einen erhöhten Druck. Damit sinkt der Massedurchsatz. Das Druckverhältnis von Ausgangs- und Eingangsdruck des Hochdruckverdichters steigt dabei zunächst an, da sich der Druck am Ausgang des Hochdruckverdichters erhöht, ohne daß diese Druckerhöhung voll am Eingang des Hochdruckverdichters wirksam wird.

Bei weiterer Verminderung des Massedurchsatzes sinkt das Druckverhältnis bei der zunächst gleichbleibenden Drehzahl wieder ab.

Dieser Verlauf des Druckverhältnisses läßt sich auch folgendermaßen betrachten: Bei konstanter Drehzahl des Hochdruckverdichters steigt das Verhältnis von Ausgangs- zu Eingangsdruck mit wachsendem Massedurchsatz zunächst an. Der Druckanstieg am Hochdruckverdichter wird um so höher, je mehr Luft von dem Hochdruckverdichter gefördert wird. Von einem Maximum ab, das dem Massedurchsatz entspricht, für welchen der Hochdruckverdichter optimal ausgelegt ist, sinkt das Druckverhältnis mit zunehmendem Massedurchsatz wieder ab. Dem Hochdruckverdichter ist eine weitere Verdichtung der angesaugten Luft bei der vorgegebenen Drehzahl nicht mehr möglich, und er wirkt dann zunehmend nicht mehr als Verdichter, sondern als Drossel, an welcher der Druck wieder abfällt.

Dieser Verlauf des Druckverhältnisses in Abhängigkeit vom Massedurchsatz bei einer konstanten Drehzahl ist in Fig. 1 dargestellt.

Eine Verminderung des Massedurchsatzes etwa über

den Punkt *D* in Fig. 1 hinaus mit einem entsprechenden, sich aus der Kurve von Fig. 1 ergebenden Druckverhältnis führt zu einem instabilen Zustand, der ein »Pumpen« des Strahltriebwerkes hervorrufen kann.

In dem Bereich zwischen den Punkten *A* und *D* von Fig. 1 ist die Steigung der Druckverhältniskurve positiv. Mit abnehmendem Massedurchsatz wird das Druckverhältnis kleiner. Wenn in einem Punkt *P* dieses Bereiches kurzzeitig durch irgendeine Störung, z. B. dadurch, daß durch ein Schieben des Flugzeuges die Luftereinlaßöffnung des Strahltriebwerkes vorübergehend in den Windschatten gerät, der Massedurchsatz des Hochdruckverdichters abfällt, dann führt dies zu einem Abfall des Förderdrucks des Hochdruckverdichters. Wenn der Druck stromab von dem Hochdruckverdichter, d. h. in der Brennkammer oder in den letzten Verdichterstufen, nicht schnell genug absinkt, dann sucht die Strömung ihre Richtung umzukehren. Wenn dies geschieht, sinkt das Druckverhältnis schnell ab. In der Zwischenzeit ist der Druck stromab von dem Verdichter ebenfalls abgefallen, so daß der Verdichter wieder zu arbeiten beginnt. Dieser Zyklus wiederholt sich dann mit hoher Frequenz und führt zu starken aerodynamischen Pulsationen, dem »Pumpen«, durch welche das Strahltriebwerk innerhalb von wenigen Sekunden zerstört werden kann. Ein solches Pumpen des Strahltriebwerkes muß daher mit Sicherheit vermieden werden (Cohen, Rogers u. Saravanan *multio Gas Turbine Theory* S. 111–114).

Wie vorstehend erläutert wurde, kann durch Erhöhung der zugemessenen Brennstoffmenge bei zunächst noch im wesentlichen unveränderter Drehzahl das Strahltriebwerk mit seinem Massedurchsatz und Druckverhältnis schnell in den Bereich zwischen *D* und *A* von Fig. 1 gelangen, in welchem die Gefahr des »Pumpens« besteht, und dieses Pumpen kann dann durch geringfügige Störungen ausgelöst werden. Es ist daher erforderlich, die zugemessene Brennstoffmenge bei der Beschleunigung des Strahltriebwerkes so zu begrenzen, daß die »Pumplinie« oder vorzugsweise eine in einem Sicherheitsabstand von dieser verlaufende »Pumplinien-Grenzkurve«, welche den stabilen von dem instabilen Bereich in dem Massedurchsatz-Druckverhältnis-Feld trennt, nicht überschritten wird.

Diese Verhältnisse seien anhand von Fig. 2 noch näher erläutert: Es ist dort eine Kurvenschar mit Kurven, ähnlich der Kurve von Fig. 1 dargestellt, die verschiedenen Drehzahlen zugeordnet sind. Für jede Drehzahl gibt es einen dem Punkt *D* von Fig. 1 entsprechenden Punkt auf der betreffenden Kurve, in welchem der instabile Bereich beginnt. Der geometrische Ort dieser Punkte ist die Pumplinie. In einem Sicherheitsabstand von dieser Pumplinie verläuft die Pumplinien-Grenzkurve. Bei der Beschleunigung des Strahltriebwerkes auf eine höhere Drehzahl, z. B. von 0,6 auf 1,0, was möglichst schnell geschehen sollte, sollte jeweils gerade so viel Brennstoff zugemessen werden, daß die Pumplinien-Grenzkurve von Punkt *P*₁ in Fig. 2 längs der »0,6«-Kurve gerade erreicht wird und dann Massedurchsatz und Druckverhältnis bei nun ansteigender Drehzahl gerade so anwachsen, daß der den Triebwerkzustand charakterisierende Punkt an der Pumplinien-Grenzkurve entlangläuft, bis die »1,0«-Kurve, d. h. die volle Nenndrehzahl des Strahltriebwerkes, erreicht ist. Bei dieser Drehzahl geht dann das Strahltriebwerk längs der »1,0«-Kurve in seinen stabilen neuen Betriebszustand über.

Ein solches Verhalten bei sicherem Ausschluß eines

Überschwingens ist jedoch schwer zu erreichen.

Es ist schon vorgeschlagen worden (DE-OS 22 05 445), einen Druckverhältnisgeber zur Erzeugung eines Druckverhältnissignals vorzusehen, welches das Druckverhältnis des Ausgangs- und des Eingangsdruckes am Hochdruckverdichter wiedergibt. Es ist dort ferner ein Massedurchsatzfühler zur Erzeugung eines den Massedurchsatz des Strahltriebwerkes wiedergebenden Massedurchsatzsignals vorgesehen. Ein Funktionsgeber liefert die Pumplinien-Grenzkurve als Grenzdruckverhältnissignal in Abhängigkeit von dem Massedurchsatzsignal. Um ein Überschießen über die Pumplinien-Grenzkurve zu vermeiden, sind signalbegrenzende Mittel zur Begrenzung des der Brennstoffzumeßeinheit zugeführten Reglerausgangssignals vorgesehen. Diese begrenzen das Reglerausgangssignal auf einen Wert, der durch die Differenz des von dem Druckverhältnisgeber gelieferten Druckverhältnissignals und des Grenzdruckverhältnissignals bestimmt wird.

Bei der vorgeschlagenen Vorrichtung ist der Wert auf den das Reglerausgangssignal begrenzt wird, eine Linearkombination der besagten Differenz (Pumplinienabstand) und ihrer Zeitableitung. Da die Brennstoffzumeßeinheit mit Trägheit behaftet ist, würde die Begrenzung des Reglerausgangssignals auf einen nur dem Pumplinienabstand proportionalen Wert zum Überspringen über die Pumplinien-Grenzkurve führen. Es ist zu beachten, daß bei großen Reglerausgangssignalen, wie sie beim starken Beschleunigen des Strahltriebwerkes auftreten, die zugemessene Brennstoffmenge zunächst nur durch die Begrenzung bestimmt wird. Zur Dämpfung der Schwingungen wird die Zeitableitung des Pumplinienabstandes aufgeschaltet.

Bei einer solchen Anordnung geht der tatsächliche Abstand von der Pumplinien-Grenzkurve nur in Form einer Linearkombination in die Begrenzung ein. Die signalbegrenzenden Mittel »wissen« daher nie, wie weit der durch Massedurchsatz und Druckverhältnis charakterisierte Zustand des Strahltriebwerkes tatsächlich von der Pumplinien-Grenzkurve entfernt ist. Auch macht es die Möglichkeit eines, wenn auch gedämpften, Überschwingens erforderlich, die Pumplinien-Grenzkurve in respektvollem Abstand von der tatsächlichen Pumplinie zu halten. Dies wiederum beschränkt die Beschleunigung, mit der das Strahltriebwerk auf eine höhere Drehzahl und damit höhere Leistung hochgefahren werden kann.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Vorrichtung der eingangs definierten Art bei Gasturbinenstrahltriebwerken für Flugzeuge zu schaffen, welche eine optimale schnelle Drehzahländerung gestattet, aber dabei ein Überschreiten der Pumplinien-Grenzkurve sicher zu vermeiden.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe durch die im kennzeichnenden Teil des Anspruchs 1 aufgeführten Merkmale gelöst.

Nach der Erfindung wird somit nicht unmittelbar die zugemessene Brennstoffmenge begrenzt, sondern deren Zeitableitung. Je kleiner der Pumplinienabstand wird, desto langsamer erfolgt die Änderung der zugemessenen Brennstoffmenge. Wenn die Pumplinien-Grenzkurve erreicht ist, wird die Änderung der zugemessenen Brennstoffmenge zu Null, d. h. die zugemessene Brennstoffmenge bleibt konstant. Wesentlich ist nun, daß die der Erhöhung der zugemessenen Brennstoffmenge mit Verzögerung nachfolgende Drehzahlerhöhung zu einer

Erhöhung des Massedurchsatzes und wegen der konstanten Brennstoffmenge zu einer Verminderung der Brennkammertemperatur führt und so das Arbeitsdruckverhältnis von der Pumplinien-Grenzkurve wieder wegzuführen trachtet. Bei vernünftiger Aufschaltung des Pumplinienabstandes ist dann ein Überschreiten der Pumplinien-Grenzkurve sicher ausgeschlossen. Das geschilderte »Regelspiel« mit der Erhöhung der zugemessenen Brennstoffmenge bis zur Annäherung an die Pumplinien-Grenzkurve und damit erreichter Konstanz der zugemessenen Brennstoffmenge, mit Verzögerung nachfolgender Erhöhung der Drehzahl und damit des Massedurchsatzes und Wegführen des Arbeitsdruckverhältnisses von der Pumplinien-Grenzkurve wiederholt sich dann, so daß der Zustand des Strahltriebwerkes schließlich (wie in Fig. 2) an der Pumplinien-Grenzkurve entlangwandert, bis die vorgegebene Drehzahl (z. B. 1,0) erreicht ist. Dann stellt sich ein solcher Zustand im Abstand von der Pumplinien-grenzkurve ein, daß die zugemessene Brennstoffmenge nicht mehr durch die Begrenzung, sondern durch das Reglerausgangssignal selbst bestimmt ist. Der Zustand des Strahltriebwerkes bewegt sich dann längs der »1,0«-Kurve in Fig. 2, wie dort durch die gestrichelte Linie dargestellt, zu dem neuen stabilen Zustand im Punkt P_2 .

Es bietet gewisse Probleme, genau und vor allem verzögerungsfrei ein Signal zu erhalten, das die Zeitableitung der zugemessenen Brennstoffmenge wiedergibt.

Zweckmäßigerweise erfolgt die Begrenzung in der im Anspruch 2 angegebenen Art.

Bei einer solchen Anordnung wird bei normalem Regelbetrieb ohne Begrenzung, d. h. bei hinreichendem Abstand des Arbeitsdruckverhältnisses von der Pumplinien-Grenzkurve, das Reglerausgangssignal direkt auf die Brennstoffzumeßeinheit geschaltet, da sich die verzögerte Differentiation mit einer Übertragungsfunktion

$$\frac{s}{1 + Ts}$$

und die Integration mit Vorhalt mit einer Übertragungsfunktion

$$\frac{1 + Ts}{s}$$

gegenseitig aufheben. Eine Begrenzung erfolgt zwischen dieser Differentiation und der Integration, wo in jedem Fall — ob die Begrenzung eingreift oder nicht — die Zeitableitung *MREG* oder zugemessenen Brennstoffmenge verzögerungsfrei zur Verfügung steht, wie weiter unten noch gezeigt wird. Das bei Wirksamwerden der Begrenzung auf einen dem Pumplinienabstand proportionalen Wert begrenzte Signal wird mit dem Vorhalt integriert und auf die Brennstoffzumeßeinheit geschaltet, die mit einer Übertragungsfunktion

$$\frac{1}{1 + T_{FCU}s}$$

verzögert dem Strahltriebwerk eine dem anliegenden Signal proportionale Brennstoffmenge M zumißt. Da $T = T_{FCU}$ gewählt wird, ist die Übertragungsfunktion von dem begrenzten Signal zum Ausgang M der Brennstoffzumeßeinheit

$$\frac{1 + T \cdot s}{s} \cdot \frac{1}{1 + T \cdot s} = \frac{1}{s},$$

d. h. das begrenzte Signal entspricht der unverzögerten Zeitableitung \dot{M} der zugemessenen Brennstoffmenge M .

Die Erfindung ist nachstehend an einem Ausführungsbeispiel unter Bezugnahme auf die zugehörige Zeichnung näher erläutert:

Fig. 1 ist ein Diagramm und zeigt für ein Strahltriebwerk bei einer vorgegebenen Hochdruckverdichter drehzahl n_H die Abhängigkeit des Druckverhältnisses (Ausgangs- zu Eingangsdruck des Hochdruckverdichters) p_2/p_1 vom Massedurchsatz;

Fig. 2 ist ein Diagramm und zeigt eine Kurvenschaar mit Kurven entsprechend Fig. 1 für verschiedene Hochdruckverdichterdrehzahlen, den Verlauf der Pumplinie, der Pumplinien-Grenzkurve und die Änderungen der Triebwerkszustände bei der Beschleunigung des Triebwerkes auf eine höhere Drehzahl;

Fig. 3 zeigt schematisch ein Strahltriebwerk sowie als Blockschaltbild eine erfindungsgemäße Vorrichtung zur Drehzahlregelung.

In Fig. 3 ist schematisch ein bekanntes dreiwellige Strahltriebwerk 10 dargestellt. In einem Außenmantel 12 ist im vorderen Teil ein Innenmantel 14 koaxial angeordnet. Zwischen Innen- und Außenmantel 14 bzw. 12 ist ein Ringraum 16 gebildet.

Koaxial innerhalb des Innenmantels 14 ist eine massive Innenwelle 18 gelagert. Die Innenwelle 18 trägt an ihrem vorderen Ende vor dem Innenmantel 14 einen Niederdruckverdichter 20 und an ihrem hinteren Ende innerhalb des Innenmantels 14 eine Turbine 22. Der Niederdruckverdichter 20 erstreckt sich sowohl über die vordere Öffnung des Innenmantels 14 als auch über die vordere Öffnung des Ringraumes 16. Der Niederdruckverdichter 20 erzeugt somit sowohl einen Luftstrom durch den Innenmantel 14 (»heißer« Strom) hindurch als auch einen relativ großen Luftstrom um den Innenmantel 14 herum durch den Ringraum 16 (»kalter« Strom).

Koaxial zu der Innenwelle 18 ist eine als Hohlwellen ausgebildete erste Außenwelle 24 gelagert. Diese erste Außenwelle 24 trägt an ihrem vorderen Ende innerhalb des Innenmantels 14 und in Strömungsrichtung hinter dem Niederdruckverdichter 20 einen Mitteldruckverdichter 26. Am hinteren Ende und in Strömungsrichtung vor der Turbine 22 sitzt eine Turbine 28. Koaxial um die erste Außenwelle 24 herum ist eine als Hohlwellen ausgebildete zweite Außenwelle 30 gelagert. Die zweite Außenwelle 30 trägt an ihrem vorderen Ende in Strömungsrichtung hinter dem Mitteldruckverdichter 26 einen Hochdruckverdichter 32 und an ihrem hinteren Ende, vor der Turbine 28 eine Turbine 34.

Zwischen dem Hochdruckverdichter 32 und der zugehörigen Turbine 34 ist innerhalb des Innenmantels 14 eine Brennkammer 36 gebildet, in welche von einer Brennstoffzumeßeinheit 38 über Düsen 40 eine zugemessene Brennstoffmenge kontinuierlich eingeleitet wird.

Die bekannte Wirkungsweise eines solchen Strahltriebwerkes ist wie folgt:

Die in den Innenmantel 14 von dem Niederdruckverdichter 20 angesaugte und verdichtete Luft wird vom Mitteldruckverdichter 26 und dem Hochdruckverdichter 32 weiter verdichtet, wobei sie sich erwärmt. In die erhitzte, verdichtete Luft wird in der Brennkammer 36 Brennstoff eingeleitet. Dieser wird gezündet und die heißen Verbrennungsgase treten am hinteren Ende mit hoher Geschwindigkeit aus dem Innenmantel 14 aus. Sie vermischen sich in einer Düsenkammer 42 mit dem Luftstrom, der von dem Niederdruckverdichter 20 um den Innenmantel herum durch den Ringraum 16 geleitet wird. Der aus der Düsenkammer 42 nach hinten mit hoher Geschwindigkeit ausgestoßene Luft- und Ver-

brennungsgasstrom erzeugt den Schub des Strahltriebwerks. Die Energie zum Antrieb der Verdichter 20, 26 und 32 wird mittels der Turbinen 22, 28 bzw. 34 dem Luft- und Verbrennungsgasstrom entnommen. Durch die Verwendung von drei gesonderten Wellen 18, 24 und 30 für drei hintereinandergeschaltete Verdichter können die Drehzahlen unterschiedlich gewählt und annähernd optimal an die jeweilige Verdichtungsanforderung angepaßt werden.

Es werden in der vorliegenden Beschreibung folgende Bezeichnungen verwendet:

- p_1 = Totaldruck am Eingang des Hochdruckverdichters 32,
- p_{10} = statischer Druck am Eingang des Hochdruckverdichters 32,
- p_2 = Totaldruck am Ausgang des Hochdruckverdichters 32,
- Δp = Differenz von Totaldruck p_1 und statischem Druck p_{10} am Eingang des Hochdruckverdichters 32,
- n_H = Drehzahl des Hochdruckverdichters 32,
- $n_{H\text{Soll}}$ = kommandierte Drehzahl des Hochdruckverdichters 32,
- T = Filterzeitkonstante,
- T_{FCU} = Zeitkonstante der Brennstoffzumeßeinheit 38,
- s = Variable der Laplace-Transformation,
- β = Reglerausgangssignal,
- M = zugemessene Brennstoffmenge,
- \dot{M} = Zeitableitung der zugemessenen Brennstoffmenge,
- m = Massendurchsatz des Hochdruckverdichters 32,
- $(p_2/p_1)_{PG}$ = Grenzdruckverhältnis, d. h. das für vorgegebenes n_H und m der Pumplinien-Grenzkurve entsprechende Verhältnis von p_2 zu p_1 ,
- $\Delta\alpha$ = Pumplinienabstand $(p_2/p_1)_{PG} - p_2/p_1$,
- k = Proportionalitätsfaktor.

Das Strahltriebwerk 10 weist Fühler auf, welche Signale nach Maßgabe der verschiedenen Betriebsparameter liefern.

Ein Eingangsdruckfühler 44 liefert ein Eingangssignalsignal, das den Totaldruck p_1 am Eingang des Hochdruckverdichters 32 wiedergibt, und ein Ausgangsdruckfühler 46 liefert ein Signal, das den Totaldruck p_2 am Ausgang des Hochdruckverdichters 32 wiedergibt. Ein Fühler 48 liefert ein Signal, das die Differenz Δp von Totaldruck p_1 und statischem Druck p_{10} am Eingang des Hochdruckverdichters 32 wiedergibt. Ein Drehzahlfühler 50 liefert ein Signal, das die Drehzahl n_H des Hochdruckverdichters wiedergibt.

Ein Sollwertgeber 52 liefert ein Signal, das eine kommandierte Drehzahl $n_{H\text{Soll}}$ für den Hochdruckverdichter 32 wiedergibt. Die Signale n_H von dem Drehzahlfühler 50 und $n_{H\text{Soll}}$ von dem Sollwertgeber 52 werden einem Regler 54 zugeführt. Der Regler 54 liefert ein Reglerausgangssignal β , welches bei Aufschaltung auf die Brennstoffzumeßeinheit eine zugemessene Brennstoffmenge M hervorruft, durch welche die Drehzahl n_H gleich der kommandierten Drehzahl $n_{H\text{Soll}}$ gemacht wird.

Um ein Pumpen des Strahltriebwerkes durch eine bei der jeweiligen Drehzahl n_H zu hohe Brennstoffmenge M verhindern zu können, ist das Reglerausgangssignal β

jedoch nicht unmittelbar auf die Brennstoffzumeßeinheit 38 geschaltet. Es erfolgt vielmehr durch ein Filter 56 eine Differentiation mit Verzögerung des Reglerausgangssignals β mit einer Übertragungsfunktion

$$\frac{s}{1 + T \cdot s}$$

Das so erhaltene Signal wird — wenn zunächst von den signalbegrenzenden Mitteln 58 abgesehen wird — anschließend mittels eines Filters 60 mit Vorhalt integriert, entsprechend einer Übertragungsfunktion

$$\frac{1 + T \cdot s}{s}$$

wobei die Zeitkonstante T des Vorhaltgliedes im Filter 60 gleich der im Verzögerungsglied des Filters 56 ist. Die resultierende Übertragungsfunktion der beiden Filter 56 und 60 ist

$$\frac{s}{1 + T \cdot s} \cdot \frac{1 + T \cdot s}{s} = 1,$$

so daß ohne die Begrenzung unverändert das Reglerausgangssignal β auf die Brennstoffzumeßeinheit 38 gegeben wird und die zugemessene Brennstoffmenge M steuert.

Das ist der normale Regelkreis.

Das Signal Δp vom Fühler 48 wird zusammen mit dem Eingangsdrucksignal p_1 vom Eingangsdruckfilter 44 auf einen Quotientenbildner (Massedurchsatzfühler) 62 gegeben. Das Ausgangssignal $\Delta p/p_1$ des Quotientenbildners 62 liefert ein Maß für den Massedurchsatz m des Hochdruckverdichters 32. Dieses Ausgangssignal m wird auf einen Funktionsgeber 64 gegeben, der an einem Ausgang 66 ein zu dem Massedurchsatz m gehöriges Grenzdruckverhältnis $(p_2/p_1)_{PG}$ liefert.

Die Ausgangs- und Eingangsdrucksignale p_2 bzw. p_1 von dem Ausgangsdruckfühler 46 bzw. dem Eingangsdruckfühler 44 werden auf einen Quotientenbildner (Druckverhältnisgeber) 68 gegeben, der das Arbeits-Druckverhältnis p_2/p_1 bildet. Im Punkt 70 wird die Differenz

$$\Delta\alpha = (p_2/p_1)_{PG} - p_2/p_1$$

des Grenzdruckverhältnisses und des tatsächlichen Arbeits-Druckverhältnisses, also der Pumplinienabstand gebildet. Dieser Pumplinienabstand wird bei 72 mit einem Faktor k multipliziert und auf die signalbegrenzenden Mittel 58 gegeben.

Die signalbegrenzenden Mittel 58 wählen jeweils von den beiden daran anliegenden Signalen, nämlich dem Ausgang des Filters 56 und dem Signal $k \Delta\alpha$ das jeweils kleinere aus und schalten es über das Filter 60 auf die Brennstoffzumeßeinheit 38. Wenn also $k \Delta\alpha$ hinreichend groß ist, das Strahltriebwerk sich also hinreichend weit von der Pumplinie entfernt befindet, dann tritt die beschriebene normale Regelung der Drehzahl über das Reglerausgangssignal β ein. Bei Annäherung an die Pumplinien-Grenzkurve wird dagegen das Signal $k \Delta\alpha$ als das kleinere wirksam.

Es ist $T = T_{FCU}$ gewählt, d. h. die Zeitkonstanten T der

Filter 56 und 60 sind an die Zeitkonstante T_{FCU} der Brennstoffzumeßeinheit angepaßt. Es ist dann

$$k \cdot I_{\alpha} \cdot \frac{1 + T \cdot s}{s} \cdot \frac{1}{1 + T_{FCU} \cdot s} = M$$

oder wegen $T_{FCU} = T$

$$k \cdot I_{\alpha} \cdot \frac{1}{s} = M$$

$$I_{\alpha} = \frac{1}{k} \cdot s \cdot M$$

oder zurücktransformiert:

$$I_{\alpha} = \frac{1}{k} \cdot M$$

Die Begrenzung bewirkt also, daß die Zeitableitung M der von der Brennstoffzumeßeinheit 38 zugemessenen Brennstoffmenge M dem Pumplinienabstand $\Delta\alpha$ proportional wird.

5 Die Signalverarbeitung kann mit analogen Signalen erfolgen. Vorteilhafterweise werden jedoch die Signale digitalisiert und mit bekannten Mitteln digital verarbeitet.

10 Statt des als Beispiel beschriebenen dreiwelligen Strahltriebwerkes kann die Erfindung auch z. B. bei einem einwelligen Strahltriebwerk angewandt werden.

Die Ermittlung der Größe M ist auch bei anderem Zeitverhalten der Brennstoffzumeßeinheit 38 (FCU) möglich.

Hierzu 2 Blatt Zeichnungen

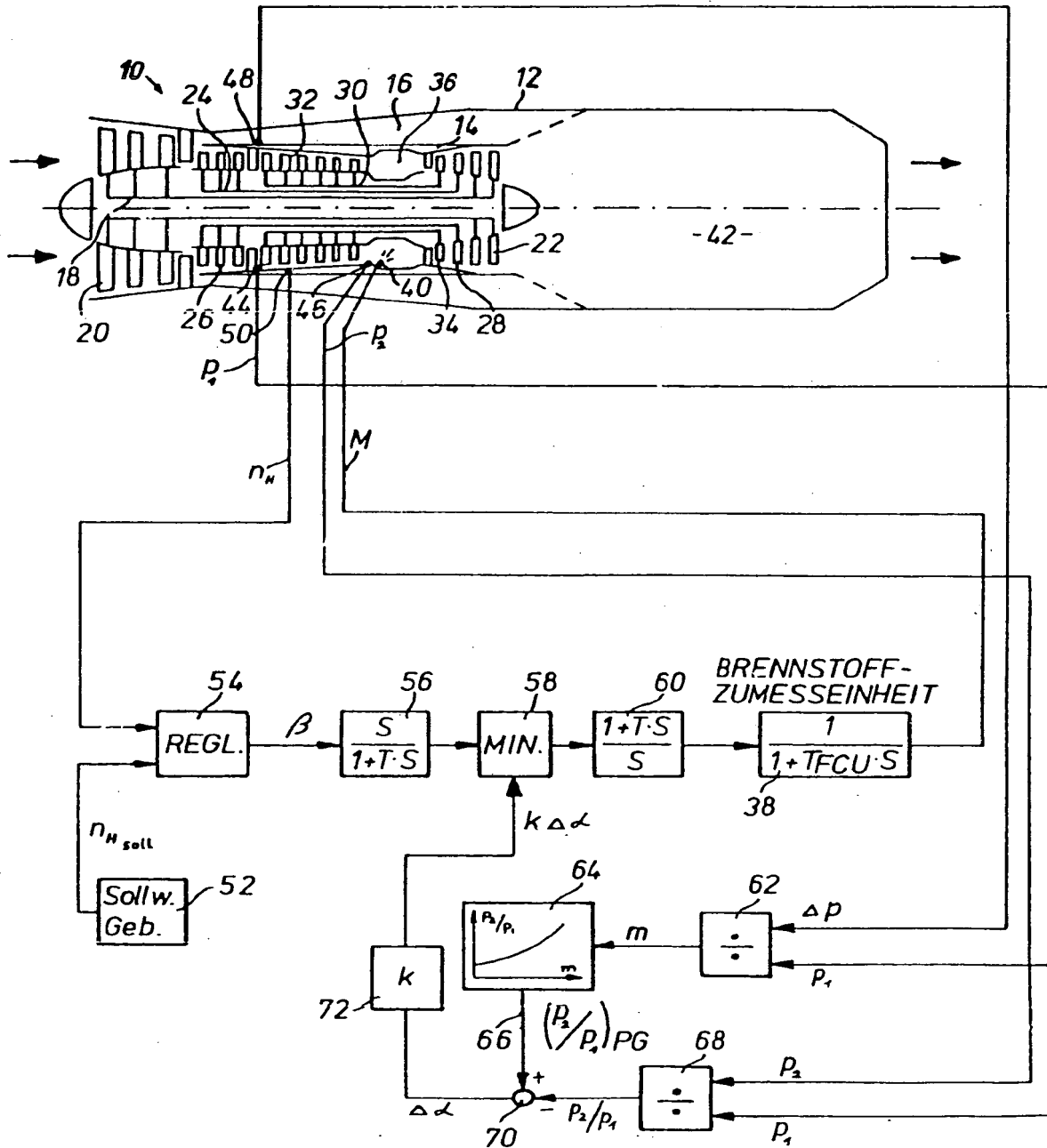


Fig. 3

Gas-turbine engine control

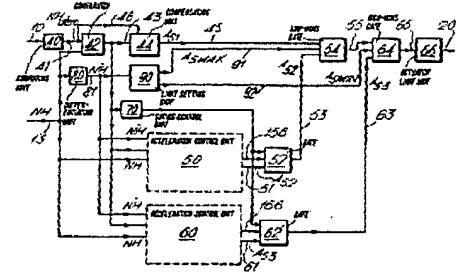
Patent number:	DE3023550
Publication date:	1981-01-15
Inventor:	YATES MICHAEL STUART
Applicant:	SMITHS INDUSTRIES LTD
Classification:	
- international:	F02C9/28
- european:	F02C9/28
Application number:	DE19803023550 19800624
Priority number(s):	GB19790022683 19790629

Also published as:

US4344141 (A1)
GB2052805 (A)
FR2460391 (A1)

Abstract not available for DE3023550
Abstract of corresponding document: **US4344141**

A control system for an aircraft gas-turbine engine has positive and negative acceleration control units. Each control unit has a memory storing values of the maximum or minimum desired rate of change of fuel flow at different speeds beyond which surge or extinction will occur. The control units produce output signals, in accordance with the engine speed and acceleration, for controlling fuel flow so that it follows closely within the surge or extinction curves. The system also has amplitude gates that pass one or the other of these output signals to the engine if the speed of engine demanded by the pilot is such as to cause surge or extinction.



Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

THIS PAGE BLANK (USPTO)

⑬ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ Patentschrift
⑪ DE 3023550 C2

⑤① Int. Cl. 5:
F 02 C 9/28
F 02 C 9/32

②① Aktenzeichen: P 30 23 550.8-13
②② Anmeldetag: 24. 6. 80
④③ Offenlegungstag: 15. 1. 81
④⑤ Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 8. 2. 90

DE 3023550 C2

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

③① Unionspriorität: ③② ③③ ③①
29.06.79 GB 7922683

⑦③ Patentinhaber:
Smiths Industries plc. Ltd. Co., London, GB

⑦④ Vertreter:
Charrier, R., Dipl.-Ing., Pat.-Anw., 8900 Augsburg

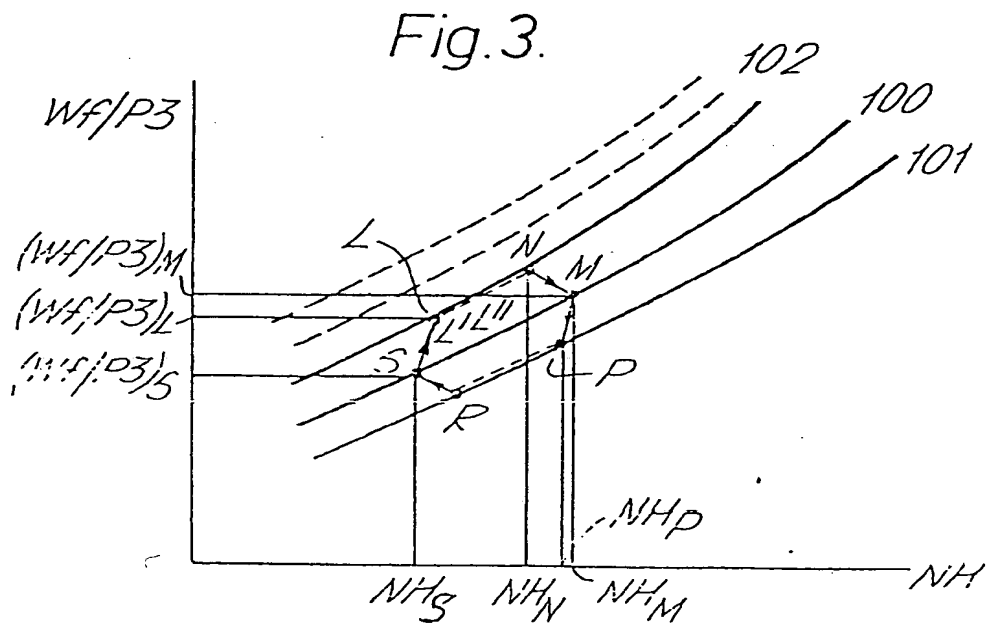
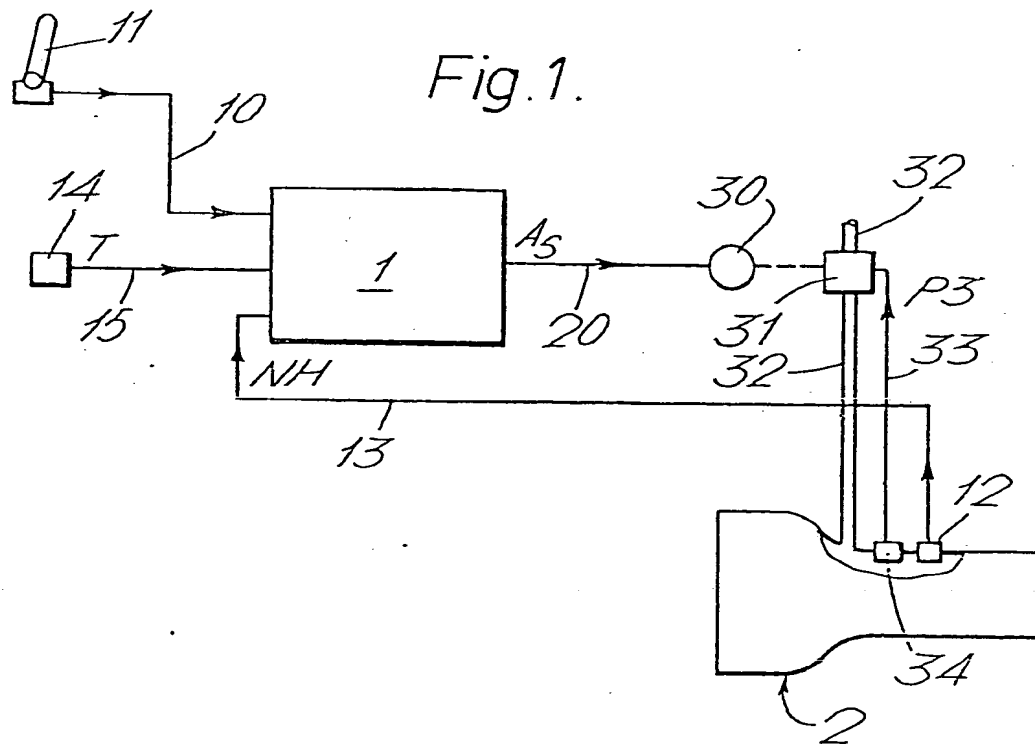
⑦⑦ Erfinder:
Yates, Michael Stuart, Andover, Hampshire, GB

⑤⑥ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit
in Betracht gezogene Druckschriften:

DE-OS 27 02 774
DE-OS 24 20 572

⑤④ Brennstoffregelsystem für ein Gasturbinentriebwerk

DE 3023550 C2



Die Erfindung betrifft ein Brennstoffregelsystem für ein Gasturbinentriebwerk nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Ein solches Brennstoffregelsystem ist Gegenstand der DE-OS 27 02 774. Hierbei wird die vom Komparator ermittelte Drehzahldifferenz mit einem variablen Faktor unter Zuhilfenahme einer Tabelle multipliziert, der von der Ist-drehzahl und dem Lieferdruck der Hochdruckkompressorstufe abhängig ist. Das sich ergebende Signal wird mit seinem Integral und weiterhin mit einem Brennstoffmengensignal addiert, wobei Letzteres unter Zuhilfenahme einer weiteren Tabelle durch die Soll-drehzahl bei stationärem Zustand des Triebwerks ermittelt wird. Das sich dann ergebende Summensignal wird in einem Signalbegrenzer begrenzt und das begrenzte Signal bestimmt die Kraftstoffzufuhr zum Triebwerk. Durch die Signalbegrenzung wird ein Durchgehen des Triebwerks verhindert.

Dies bedeutet, daß das die Brennstoffzufuhr bestimmende Signal abhängig ist von dem Brennstoffmengensignal bei Soll-drehzahl und stationärem Zustand und einem von der Drehzahldifferenz abhängigen Signal. In welcher Weise die Signalbegrenzung durchgeführt wird, ist in diesem Stand der Technik nicht erläutert.

Beim Gegenstand der DE-OS 24 20 572 wird ebenfalls in einem Komparator die Drehzahldifferenz zwischen der Ist- und der Soll-drehzahl ermittelt. Die Drehzahldifferenz wird in einem Integrator integriert und das integrierte Signal einem Differenzverstärker zugeführt, dem weiterhin die Ist-drehzahl zugeführt wird. Das Ausgangssignal des Differenzverstärkers wird zwei Grenzwertschaltungen zugeführt, u.e. von der jeweiligen Turbinendrehzahl abhängige obere und untere Grenzwerte erzeugen und die somit drehzahlabhängig das Drehzahldifferenzsignal bezüglich seines jeweiligen oberen und unteren Werts begrenzen.

Bei beiden Brennstoffregelsystemen wird wohl ein Durchgehen bzw. Verlöschen des Triebwerks bei einer gewünschten Drehzahländerung verhindert, allerdings wird die über den Leistungshebel eingegebene Soll-drehzahl nicht in kürzest möglicher Zeit erreicht.

Es stellt sich die Aufgabe, das Brennstoffregelsystem so auszubilden, daß die Soll-drehzahl des Triebwerks ohne überschreiten seiner Grenzparameter in kürzest möglicher Zeit sich einstellt.

Gelöst wird diese Aufgabe mit den kennzeichnenden Merkmalen des Anspruchs 1. Vorteilhafte Ausgestaltungen sind den Unteransprüchen entnehmbar.

Das Lösungsprinzip geht davon aus, daß bei einer gewünschten Drehzahländerung abhängig von der jeweiligen Ist-drehzahl die Drehzahl des Triebwerks maximal zulässig beschleunigt oder verzögert wird. Ist diese maximal zulässige Beschleunigung oder Verzögerung erreicht, dann wird die Brennstoffzufuhr auf Werte begrenzt, die an den Grenzlängen liegen, bei denen ein Durchgehen oder Verlöschen des Triebwerks auftritt. Durch die Drehzahlbeschleunigung bzw. -verzögerung auf maximal zulässige Werte und durch die drehzahlabhängige Begrenzung der Brennstoffzufuhr längs der Grenzlängen wird erreicht, daß das Triebwerk in kürzest möglicher Zeit seine Soll-drehzahl erreicht.

Ein Regelsystem bei einem Flugzeuggasturbinen-triebwerk wird nachfolgend als Ausführungsbeispiel anhand der Zeichnungen erläutert. Es zeigt

Fig. 1 eine schematische Darstellung des Regelsystems des Triebwerks;

Fig. 2 ein Schaltschema des Regelsystems nach Fig. 1; Fig. 3 ein Diagramm der Drehzahländerung in Abhängigkeit von der Kraftstoffzufuhr und

Fig. 4 ein Teil des in Fig. 1 gezeigten Systems.

Das in Fig. 1 gezeigte Regelsystem bewirkt die Steuerung der Kraftstoffzufuhr zum Gasturbinentriebwerk 2 eines Flugzeugs.

Das Regelsystem 1 empfängt Eingangssignale über die Leitung 10 in Abhängigkeit von der Lage des Leistungshebels 11. Ein Drehzahlsensor 12 liefert Signale über die Leitung 13 in Abhängigkeit von der Drehzahl NH der Hochdruckkompressorstufe des Triebwerks 2. Der Drehzahlsensor 12 kann elektromagnetisch, induktiv, optisch oder in einer sonst bekannten Form ausgebildet sein. Signale, welche repräsentativ sind für die Umgebungstemperatur T können ebenfalls dem Regelsystem 1 über die Leitung 15 von einem Temperaturfühler 14 zugeführt werden.

Zweck des Regelsystems 1 besteht darin, die Drehzahl NH des Triebwerks 2 zu steuern durch Regulieren der Kraftstoffzufuhr zum Triebwerk. Zu diesem Zweck erzeugt das System 1 längs der Leitung 20 Ausgangssignale A_s , welche einem elektrischen Schrittschaltmotor 30 zugeführt werden. Die Signale A_s längs der Leitung 20 sind repräsentativ für über dem Leistungshebel 11 geforderte Drehzahländerungen der Triebwerke 2 und werden dazu verwendet, die Stellung ACT der Ausgangswelle des Motors 30 zu verändern. Ist das Signal A_s gleich 0, dann wird die Lage der Ausgangswelle nicht verändert. Die Drehzahl des Triebwerks ist eine Funktion des Verhältnisses der Kraftstoffzufuhr W zum Lieferdruck P_3 seiner Hochdruckkompressorstufe. Die Stellung ACT der Ausgangswelle des Schrittschaltmotors 30 ist damit eine Funktion des Verhältnisses W/P_3 , wobei die Neigung von ACT gegen W/P_3 durch einen Wert K gegeben ist. Der Wert K ist eine Funktion der Stellung des Betätigungsglieds 31, welche für die meisten Werte der Stellung des Betätigungsglieds 31 im wesentlichen konstant ist. Die Änderungsgeschwindigkeit der Stellung der Ausgangswelle in Bezug auf die Zeit ist gegeben durch die Gleichung

$$dACT/dt = Kd(W/P_3)/dt \quad (1)$$

Das Betätigungsglied 31 ist eine hydromechanische Vorrichtung, welche die Kraftstoffzufuhr zum Triebwerk 2 steuert. Diesem Betätigungssignal 31 werden Signale von einem Druckfühler 34 über die Leitung 33 zugeführt, welche abhängig sind vom Lieferdruck P_3 der Hochdruckkompressorstufe. Die Kraftstoffzufuhr W wird somit gesteuert in Abhängigkeit der Stellung ACT der Ausgangswelle, welche proportional ist zu W/P_3 und Signalen in der Leitung 33, welche repräsentativ sind, für P_3 .

Die Weise, in welcher das Regelsystem 1 die Ausgangssignale in der Leitung 20 in Abhängigkeit der Eingangssignale in den Leitungen 10, 13 und 15 erzeugt, wird nachfolgend anhand der Fig. 2 beschrieben.

Die Signale der Leitung 10 in Übereinstimmung mit der Stellung des Leistungshebels 11 werden einer Rechneinheit 40 innerhalb des Regelsystems 1 zugeführt. Die Rechneinheit 40 erzeugt in der Leitung 41 ein Ausgangssignal NH_{dem} , welches repräsentativ ist für die vom Piloten geforderte Drehzahl der Hochdruckkompressorstufe. Dieses Signal NH_{dem} in der Leitung 41 wird einem Komparator 42 zugeführt, welcher zusätzlich Signale von der Leitung 13, d. h. vom Drehzahlsensor 12, erhält, welche repräsentativ sind für die Ist-dreh-

zahl NH der Turbine 2. Der Kompensator 42 liefert Signale über die Leitung 43 einem Komparator 44, zu welche abhängig sind von der Differenz zwischen der geforderten Drehzahl NH_{dem} und der Istzahl NH . Der Kompensator 44 erzeugt Ausgangssignale AS_1 , welche in der Leitung 45 auftreten und die dazu dienen, die Änderungen in der Lage der Ausgangswelle des Schrittschaltmotors 30 zu steuern. Das Signal AS_1 wird in der Einheit 44 abgeleitet in Übereinstimmung mit dem Differenzsignal in der Leitung 43 und dem über die Leitung 46 zugeführten Sollzahl NH_{dem} unter Berücksichtigung der Dynamik des Triebwerks 2 bei unterschiedlichen Drehzahlen.

Das Regelsystem 1 umfaßt weiterhin eine Beschleunigungssteuereinheit 50, welche die maximale Sollbeschleunigung des Triebwerks 2 errechnet. Dies wird nachfolgend beschrieben, wobei diese Steuereinheit 50 Signale AS_2 erzeugt, welche bestimmend sind für die maximale Sollstellungsänderung der Ausgangswelle des Schrittschaltmotors 30 in einer Richtung.

Das Regelsystem 1 umfaßt weiterhin eine Verzögerungssteuereinheit 60, welche die maximale Sollverzögerung des Triebwerks 2 in nachfolgend beschriebener Weise errechnet und welche ein Ausgangssignal AS_3 erzeugt, welches für die maximale Stellungsänderung der Ausgangswelle des Schrittschaltmotors in der entgegengesetzten Richtung bestimmend ist.

Beim Betrieb des Triebwerks treten zwei Extremzustände auf. Wird beispielsweise eine rasche Beschleunigung gefordert, dann wird die Kraftstoffzufuhr rasch erhöht, wobei dann der Druck der expandierenden Gase, erzeugt durch die Verbrennung des Kraftstoffs, einen Gasdurchfluß durch das Triebwerk bewirkt, der zu einer möglichen Überhitzung und somit zu einer Beschädigung des Triebwerks führen kann. Wird andererseits eine rasche Geschwindigkeitsverminderung gefordert, dann wird die Kraftstoffzufuhr unterhalb bestimmter Grenzen vermindert, so daß zu wenig Kraftstoff zugeführt wird, um die Verbrennung aufrecht zu erhalten, so daß ein Verlöschen auftreten können. Das Regelsystem 1 steuert normalerweise das Betätigungsglied 31 in Abhängigkeit mit der geforderten Drehzahländerung des Triebwerks 2, falls jedoch die geforderte Stellungsänderung des Schrittschaltmotors 30 in einer Richtung einen Wert übersteigt, bei welcher ein Durchgehen des Triebwerks auftreten könnte, wie dies durch die Beschleunigungssteuereinheit 50 errechnet wird, dann wird das Betätigungsglied 31 von hier abgesteuert durch die Beschleunigungssteuereinheit 50. Falls andererseits die geforderte Stellungsänderung des Schrittschaltmotors 30 in der anderen Richtung einen Wert übersteigt, bei welcher ein Verlöschen der Brennkammer auftreten könnte, wie dies durch die Verzögerungssteuereinheit 60 errechnet wurde, dann wird von hier ab das Betätigungsglied 31 gesteuert durch die Verzögerungssteuereinheit 60.

Die Ausgangssignale AS_2 und AS_3 von den Beschleunigungs- und Verzögerungssteuereinheiten 50 und 60 werden jeweils über Leitungen 51 und 61 Gattern 52 und 62 zugeführt. Die Gatter 52 und 62 werden gesteuert von Signalen einer Gattersteuereinheit 70 und jeweils von Signalen der Leitungen 156 und 166 von den Beschleunigungs- und Verzögerungssteuereinheiten 50 und 60. Die Gattersteuereinheit 70 ist so ausgebildet, daß wenn das Drehzahldifferenzsignal in der Leitung 43 unter einen vorbestimmten Wert fällt, die Signale AS_2 in Leitung 51 mit einem großen positiven Wert multipliziert werden, wodurch in der Leitung 53 ein hohes Si-

gnal auftritt, während das Signal AS_3 in der Leitung 61 multipliziert wird mit einem großen negativen Wert, so daß in der Leitung 63 ein negatives, d. h. niederes Signal auftritt. Der Ausgang des Beschleunigungsgatters 52 ist über die Leitung 53 mit einem Eingang eines der drei Eingänge aufweisenden Gatters 54 verbunden. Der Ausgang des Verzögerungsgatters 62 wiederum ist über die Leitung 63 verbunden mit einem Eingang eines ebenfalls drei Eingänge aufweisenden Gatters 64. Das Gatter 54 ist so ausgebildet, daß bei großen positiven Werten AS_2 dieses Signal gesperrt wird, während das Gatter 64 so ausgebildet ist, daß bei niederen Signalen in der Leitung 53 diese gesperrt werden. Auf diese Weise wird bewirkt, daß bei einem geringen Drehzahldifferenzsignal aus dem Soll-Istwertvergleich im Komparator 42 Beschleunigungs- und Verzögerungssignale von den Einheiten 50 und 60 durch die Gatter 54 und 64 blockiert werden.

Das System umfaßt weiterhin eine Differentialschaltung 80, welche errechnet, ob die Beschleunigung positiv oder negativ (Verzögerung) ist und zwar durch Abgriff des Turbinendrehzahlsignals NH der Leitung 13. Auf diese Weise werden aus den Signalen NH die Signale NH erzeugt. Diese Beschleunigungssignale NH werden von der Schaltung 80 über die Leitung 81 der Beschleunigungseinheit 50 zugeführt. Sie werden weiterhin zugeführt der Verzögerungseinheit 60 und einer Grenzwerteinheit 90. Die Grenzwerteinheit 90 errechnet ein maximales Schrittschaltmotor-Steuersignal AS_{MAX} entsprechend der Turbinenbeschleunigung NH und liefert dieses Signal über die Leitung 91 einem weiteren Eingang des Gatters 54 zu. Die Grenzwerteinheit 90 errechnet weiterhin ein minimales Schrittschaltmotor-Steuersignal AS_{MIN} entsprechend der Turbinenbeschleunigung NH und liefert dieses Signal über die Leitung 92 einem Eingang des Gatters 64 zu. Die Grenzwerteinheit 90 bewirkt lediglich zum Setzen der Maximal- und Minimalgrenzen, welche nicht überschritten bzw. unterschritten werden sollen, wobei die Signale AS_{MAX} oder AS_{MIN} lediglich dazu dienen, den Schrittschaltmotor 30 so zu steuern, daß keine Fehlfunktion im System auftritt.

Der dritte Eingang des Gatters 54 erhält über die Leitung 45 Signale AS_1 , während der dritte Eingang des Gatters 64 über die Leitung 55 Signale vom Ausgang des Gatters 54 erhält, wobei es sich hierbei um die Signale AS_2 , AS_{MAX} oder AS_1 handelt. Im Normalbetrieb, d. h. wenn die vom Piloten geforderte Drehzahl NH_{dem} nicht derart ist, daß ein Durchgehen oder ein Verlöschen des Triebwerks auftreten könnte, dann erzeugt das Beschleunigungsgatter 52 in der Leitung 53 einen sehr hohen Ausgang, während das Verzögerungsgatter 62 in der Leitung 63 einen hohen negativen Ausgang erzeugt. Da das Gatter 54 nur die kleinen Werte durchläßt, wird im vorliegenden Betriebszustand des Signals AS_2 gesperrt, während das Signal AS_1 durchgelassen wird und über die Leitung 55 an einen Eingang des Gatters 64 gelangt. Da das Signal AS_3 der Leitung 63 niedriger ist als die Signale an den anderen Eingängen des Gatters 64 und dieses Gatter nur die größeren Eingangswerte passieren läßt, gelangt das Signal AS_1 durch das Gatter 64 hindurch und tritt in der Leitung 65 auf. Signale in der Leitung 65 gelangen über eine Betätigungsgrenzeinheit 66 zur Leitung 20 und damit zum Motor 30. Die Betätigungsgrenzeinheit 66 wirkt lediglich zur Verhinderung einer Schrittländerung des Betätigungsglieds 31 per iteration, welche einen bestimmten Grenzwert übersteigt.

Das Diagramm in Fig. 3 zeigt die Abhängigkeit der Änderungen der Turbinendrehzahl NH von Änderungen im Verhältnis $W/P3$. Die Kurve 100 zeigt die Konstantzustandsbedingung, bei welcher das Triebwerk 2 bei einer konstanten Drehzahl arbeitet. Die Linie 101 zeigt die Grenze, unterhalb welcher ein Verlöschen auftritt, während die Kurve 102 die Grenzen darstellt, oberhalb welcher ein Durchgehen auftritt, wobei die Grenzen von verschiedenen Faktoren bestimmt werden, wie beispielsweise Umgebungstemperatur oder Druck. Es ist wichtig, daß wenn die Drehzahl des Triebwerks 2 geändert werden soll, das Verhältnis $W/P3$ zwischen den beiden Linien 101 und 102 liegt.

Eine Erhöhung oder Verminderung des Verhältnisses $W/P3$ bewirkt nicht eine unmittelbare korrespondierende Änderung der Drehzahl NH . Infolge der Trägheit des Triebwerks 2 und der zur Verbrennung des Kraftstoff benötigten Zeit ist eine Totzeit vorhanden. Eine Änderung im Verhältnis $W/P3$ bewirkt daher ein momentanes Verlassen von der Linie 100, solange die Turbinendrehzahl verändert wird, bis der statische Zustand auf der Linie 100 wieder erreicht ist.

Die Beschleunigungseinheit 50 arbeitet, daß, wenn eine starke Beschleunigung gefordert wird, das Verhältnis $W/P3$ mit wachsender Turbinendrehzahl NH erhöht wird längs eines aus einer Vielzahl aufeinanderfolgender Schritte bestehenden Wegs parallel zur Durchgehlinie 102. Beispielsweise sei vorausgesetzt, daß das Triebwerk 2 mit einer konstanten Drehzahl NH_S arbeitet und zwar am Punkt S längs der Linie 100. Der Pilot stellt nunmehr den Hebel 11 so ein, daß die Turbinendrehzahl beschleunigt werden soll auf eine Drehzahl NH_M , entsprechend einem Verhältniswert $(W/P3)_M$ auf der Linie 100. Infolge der Totzeit zwischen der Veränderung des Verhältnisses $W/P3$ und der Veränderung der Drehzahl NH , würde das Verhältnis $W/P3$ den Durchgehwert bei der Drehzahl NH_S übersteigen, wie durch die Linie 102 definiert. Das System 1 dagegen verändert das Verhältnis $W/P3$ mehr allmählich, so daß die Turbinendrehzahl NH und das Verhältnis $W/P3$ dem Weg $SLNM$ folgt, ohne hierbei die Durchgehlinie 102 nach oben zu überschreiten. Das Verhältnis $W/P3$ wird anfänglich von S nach L stark erhöht bis zu einem Wert $(W/P3)_L$ unmittelbar unterhalb der Durchgehlinie 102, nachfolgend wird die Turbinendrehzahl NH um kleinere Beträge erhöht und verläuft unterhalb der Linie 102 von L nach N . Die Kurve der Linie 102 am Punkt L wird, wie später erläutert wird, bestimmt von Tabellen. Das Verhältnis $W/P3$ wird derart erhöht, daß die Turbinendrehzahl NH und das vorgenannte Verhältnis einem kleinen Schritt bis zu einem Punkt L' folgen. Beim Punkt L' wird der Verlauf der Linie 102 direkt oberhalb L' abermals bestimmt von den Tabellen und das Verhältnis $W/P3$ wird abermals erhöht, derart, daß die Turbinendrehzahl NH und das vorgenannte Verhältnis einen kleinen Schritt parallel zum Verlauf der Kurve 102 folgen, bis der Punkt L'' erreicht ist. Dieser Vorgang wird Schritt für Schritt wiederholt, bis ein Verhältnis $(W/P3)_N$ erreicht ist, welches oberhalb des Wertes $(W/P3)_M$ liegt, bei dem die Solldrehzahl NH_M erreicht ist. Beim Punkt N ist der Unterschied zwischen der Solldrehzahl NH_M und der Ist-drehzahl NH_N gering, so daß nunmehr die Kompensationseinheit 44 steuert, wodurch das Verhältnis $W/P3$ vermindert wird und die Turbinendrehzahl zurück längs der Linie NM verläuft bis zur Konstantzustandslinie 100, ohne daß hierbei die Solldrehzahl NH_M überschritten werden würde. Durch Folgen längs der Durchgehlinie 102 wird die Drehzahl der

Turbine rasch verändert, ohne daß hierbei die Gefahr des Durchlaufens auftritt.

Die Verzögerung wird gesteuert durch die Verzögerungssteuereinheit 60 in entsprechender Weise. Falls die Turbinendrehzahl rasch von NH_M auf NH_S vermindert werden soll, dann wird das Verhältnis $W/P3$ und die Drehzahl NH derart kontrolliert, daß die Werte dem Weg $MPRS$ folgen. Das Verhältnis wird zuerst rasch vom Wert $(W/P3)_M$ auf $(W/P3)_P$ reduziert, wobei die Turbinendrehzahl auf einen Wert NH_P an einem Punkt nahe der Verlöschnlinie 101 reduziert wird. Der Verlauf der Verlöschnlinie 101 an Punkt P wird bestimmt von weiteren Tabellen und das Verhältnis $W/P3$ wird sodann schrittweise vermindert, so daß die Geschwindigkeit NH in aufeinanderfolgenden Linien parallel dem Verlauf der Linie 101 folgt. Diese kontinuierliche schrittweise Verminderung der Drehzahl erfolgt bis zum Punkt R , wo die Ist-drehzahl NH_R nahe der Solldrehzahl NH_S ist, wobei von diesem Punkt ab das Verhältnis $W/P3$ erhöht wird bis auf den Wert $(W/P3)_S$ längs des Wegs RS , womit die Solldrehzahl NH_S erreicht wird, ohne daß dabei die Drehzahl unter die Verlöschn-drehzahl abfällt.

Die Beschleunigungssteuereinheit 50 wird nachfolgend anhand der Fig. 4 näher beschrieben. Die Einheit 50 umfaßt einen Speicher 151, in welchem eine Tabelle gespeichert ist, welche den Verlauf $d(W/P3)/dNH$ der Durchgehlinie 102 für verschiedene Werte der Solldrehzahl NH wiedergibt. Der Speicher 151 erhält Istsignale NH von der Leitung 13, welche repräsentativ sind für die Ist-drehzahl und erzeugt Ausgangssignale längs der Leitung 152, welche repräsentativ sind für den Wert von $d(W/P3)/dNH$ der Durchgehlinie 102 bei dieser Ist-drehzahl. Die Signale der Leitung 152 werden einem Multiplizierer 153 zugeführt, der weiterhin über die Leitung 81 Signale NH erhält, welche repräsentativ sind für die Turbinenbeschleunigung. Der Multiplizierer 153 multipliziert diese beiden Eingänge gemäß folgender Gleichung:

$$(d(W/P3)/dNH) \times NH = d(W/P3)/dt \quad (2)$$

Der Multiplizierer 153 multipliziert weiterhin die Signale, welche repräsentativ sind für $d(W/P3)/dt$ mit dem Wert K entsprechend der weiter vorne genannten Gleichung zur Erzeugung eines Signals in Übereinstimmung mit der Änderungsgeschwindigkeit $dACT/dt$ der Stellung des Schrittschaltmotors 30. Das Errechnen des Werts $dACT/dt$ wird jeweils alle T_i Sekunden ausgeführt, im allgemeinen werden jede Sekunde mehrere derartige Rechnungen durchgeführt. Der Multiplizierer 153 multipliziert das Signal $dACT/dt$ mit der Zeitdauer T_i wodurch das Signal AS_2 am Ausgang des Multiplizierers in der Leitung 51 entsprechend der nachfolgenden Gleichung auftritt:

$$AS_2 = (dACT/dt) \times T_i \quad (3)$$

Die Beschleunigungssteuereinheit 50 umfaßt einen Komparator 155, dem über die Leitung 13 Signale zugeführt werden, welche repräsentativ sind für die Ist-drehzahl NH , Signale über die Leitung 81, repräsentativ für die Turbinenbeschleunigung NH und Signale über die Leitung 43, repräsentativ für die Differenz zwischen der Solldrehzahl und der Ist-drehzahl. Der Komparator erzeugt ein Signal längs der Leitung 156, welches dem dritten Eingang des Beschleunigungsgatters 52 zuge-

führt wird. Der Komparator 155 weist einen zweiten Speicher 157 auf, mit einer Tabelle der maximalen Sollwerte der Turbinenbeschleunigung NH_{MAX} bei verschiedenen Turbinendrehzahlen. Der Speicher wird angesteuert durch Signale NH der Leitung 13 und sein Ausgang wird verglichen mit den Signalen NH der Leitung 81, welche repräsentativ sind für die Istturbinenbeschleunigung. Der Komparator 155 erzeugt in der Leitung 156 ein hohes Ausgangssignal, wodurch die Signale AS_2 beim Gatter 54 blockiert werden, wenn die erlaubte Maximalbeschleunigung NH_{MAX} größer ist als die Istbeschleunigung NH und wenn die Differenzsignale in der Leitung 53 oberhalb einem vorbestimmten Wert sind. Auf diese Weise können die Signale AS_1 der Leitung 45 das Gatter 54 passieren, bis die Beschleunigung der Turbine einen erlaubten Maximalwert erreicht hat. Dies entspricht der Linie SL in Fig. 3. Wenn die Turbinenbeschleunigung diesen Maximalwert erreicht hat, dann wird der Ausgang des Komparators 155 Null, so daß nunmehr Signale AS_2 der Leitung 53 durch das Gatter 54 passieren können, falls diese geringer sind als AS_1 . Das Triebwerk wird sodann schrittweise gesteuert von L nach N durch die Beschleunigungssteuereinheit 50 in der vorbeschriebenen Weise. Bei N geht der Ausgang des Gatters 52 auf einen hohen Wert, wegen der nunmehr geringen Differenz zwischen der Ist- und Soll-drehzahl ein großes Signal von der Gattersteuereinheit 70 zur Anwendung kommt, so daß das Triebwerk dann durch Signale AS_1 in der vorbeschriebenen Weise gesteuert wird.

Die Verzögerungssteuereinheit 60 funktioniert in analoger Weise wie die Beschleunigungssteuereinheit 50. Ist der Wert des Ausgangs der Verzögerungssteuereinheit 60, wie er durch das Gatter 62 hindurchgeht, gering, dann wird das Triebwerk 2 gesteuert durch Signale AS_1 , während der Intervall von M nach P und von R nach S , da das Gatter 64 nur große Werte durchläßt. Während des Intervalls von P nach R wird eine Tabelle des Verlaufs der Verlöschlinie 101 bei verschiedenen Turbinendrehzahlen adressiert und die Kraftstoffzufuhr wird verändert derart, daß der Turbinenbetriebszustand in aufeinanderfolgenden Schritten parallel zur Verlöschlinie 101 verläuft.

Patentansprüche

1. Brennstoffregelsystem für ein Gasturbinentriebwerk, das einen Komparator aufweist, der ein erstes, zur Ist-drehzahl der Turbine proportionales Eingangssignal mit einem zweiten, zur Soll-drehzahl proportionalen Eingangssignal vergleicht und in Abhängigkeit dieses Vergleichs ein Differenzsignal erzeugt, dieses Differenzsignal und das zweite Eingangssignal einem ersten Kompensator zugeführt werden, der ein vom Differenzsignal und vom zweiten Eingangssignal abhängiges, die Dynamik der Turbine bei unterschiedlichen Drehzahlen berücksichtigendes erstes Ausgangssignal erzeugt, das einer Signalbegrenzerschaltung zugeführt wird, deren Ausgangssignal die Stellung eines die Kraftstoffzufuhr zur Turbine bestimmenden von einem Motor angetriebenen Ventils, wobei die Signalbegrenzerschaltung ihr Ausgangssignal auf Werte begrenzt, bei denen bei der jeweiligen Ist-drehzahl ein Durchgehen oder Verlösch der Turbine verhindert wird, dadurch gekennzeichnet, daß eine Differentialschaltung (80) vorgesehen ist, der das erste Eingangssignal (NH) zugeführt wird und deren die

zeitliche Drehzahländerung NH der Turbine anzeigendes Ausgangssignal zusammen mit dem ersten Eingangssignal (NH) einer ersten und einer zweiten Steuereinheit (50, 60) zugeführt wird, die jeweils einen ersten Speicher (151) aufweisen, die jeweils drehzahlabhängig die Geschwindigkeiten ($d(W/P3)/dNH$) speichern, mit denen sich die Verdichterdruckabhängige Kraftstoffzufuhr ($W/P3$) in Abhängigkeit der Turbinendrehzahl (NH) ändert, wobei der Speicher (151) der ersten Steuereinheit (50) die Geschwindigkeiten der maximal zulässigen und der Speicher (151) der zweiten Steuereinheit (60) die Geschwindigkeiten der minimal zulässigen Verhältnisse zwischen Kraftstoffzufuhr ($W/P3$) und der Turbinendrehzahl (NH) speichern, aufgrund des ersten Eingangssignals (NH) aus den Speichern (151) die zugehörigen Geschwindigkeiten abgegriffen und zusammen mit dem Ausgangssignal (NH) der Differentialschaltung (80) jeweils einem Multiplizierer (153) der Steuereinheiten (50, 60) zugeführt und dort miteinander zur Bildung eines zweiten und dritten Ausgangssignals (AS_2 , AS_3) multipliziert werden, die zweiten und dritten Ausgangssignale (AS_2 , AS_3) zur proportionalen zeitlichen Stellungsänderung ($d(AC7/dt)$ der Stellung des Motors (30) der Signalbegrenzerschaltung zugeführt werden und deren Ausgangssignal (AS) bestimmen, wenn das den Steuereinheiten (50, 60) von der Differentialschaltung zugeführte Ausgangssignal (NH) einen Maximalwert erreicht hat.

2. Brennstoffregelsysteme nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Steuereinheit (50, 60) jeweils einen zweiten Speicher (157) aufweisen, die jeweils drehzahlabhängig die maximal zulässigen zeitlichen Drehzahländerungen (NH_{max}) speichern, wobei der Speicher (157) der ersten Steuereinheit (50) die Drehzahländerungen der maximal und der Speicher (157) der zweiten Steuereinheit (60) diejenigen der minimal zulässigen Verhältnisse speichert, diesen Speichern (157) das erste Eingangssignal (NH) zugeführt und jeweils die zugehörige maximale Drehzahländerung (NH_{max}) abgegriffen wird, die in einem zweiten Komparator (155) mit dem diesen zugeführten Ausgangssignal (NH) der Differentialschaltung (80) verglichen wird und der Komparator (155) der Signalbegrenzerschaltung ein das zweite und dritte Ausgangssignal (AS_2 , AS_3) sperrendes Signal zugeführt, wenn die abgegriffene maximale Drehzahländerung (NH_{max}) größer ist als das Ausgangssignal.

3. Brennstoffregelsystem nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Signalbegrenzerschaltung ein erstes, niedere Signale durchlassendes und ein zweites, hohe Signale durchlassendes Gatter (54, 64) umfaßt und dem ersten Gatter (54) das erste und zweite Ausgangssignal (AS_1 , AS_2) und dem zweiten Gatter (64) das Ausgangssignal des ersten Gatters (54) und das dritte Ausgangssignal (AS_3) zugeführt werden.

4. Brennstoffregelsystem nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Signalbegrenzerschaltung weiterhin zwei dritte Gatter (52, 62) umfaßt, die jeweils mit den Ausgängen der Steuereinheiten (50, 60) und dem Ausgang einer Gattersteuereinheit (70) verbunden sind, der Eingang der Gattersteuereinheit (70) mit dem Ausgang des ersten Komparators (42) verbunden ist und Ausgangssignal er-

zeugt, wenn das Differenzsignal unter einem Schwellwert liegt und dieses Ausgangssignal ein hohes zweites Ausgangssignal (AS2) des einen dritten Gatters (52) bewirkt, dessen Ausgang mit dem ersten Gatter (54) verbunden ist und ein niederes drittes Ausgangssignal (AS3) des anderen dritten Gatters (62) bewirkt, dessen Ausgang mit dem zweiten Gatter (64) verbunden ist.

5. Brennstoffregelsystem nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Steuereinheiten (50, 60) das zweite und dritte Ausgangssignal (AS2, AS3) periodisch erzeugen und die Speicher (151, 157) periodisch abgelesen werden.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

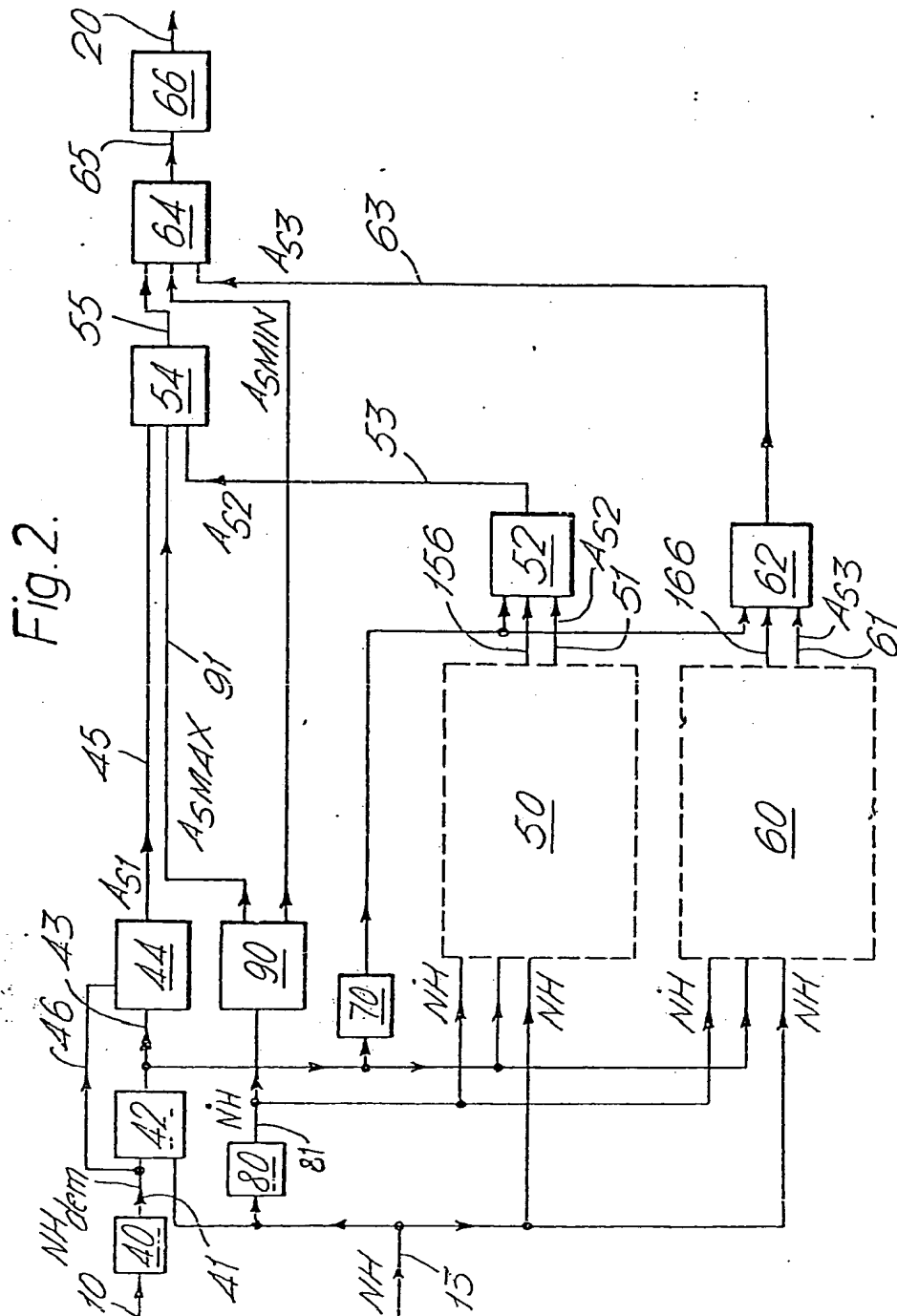
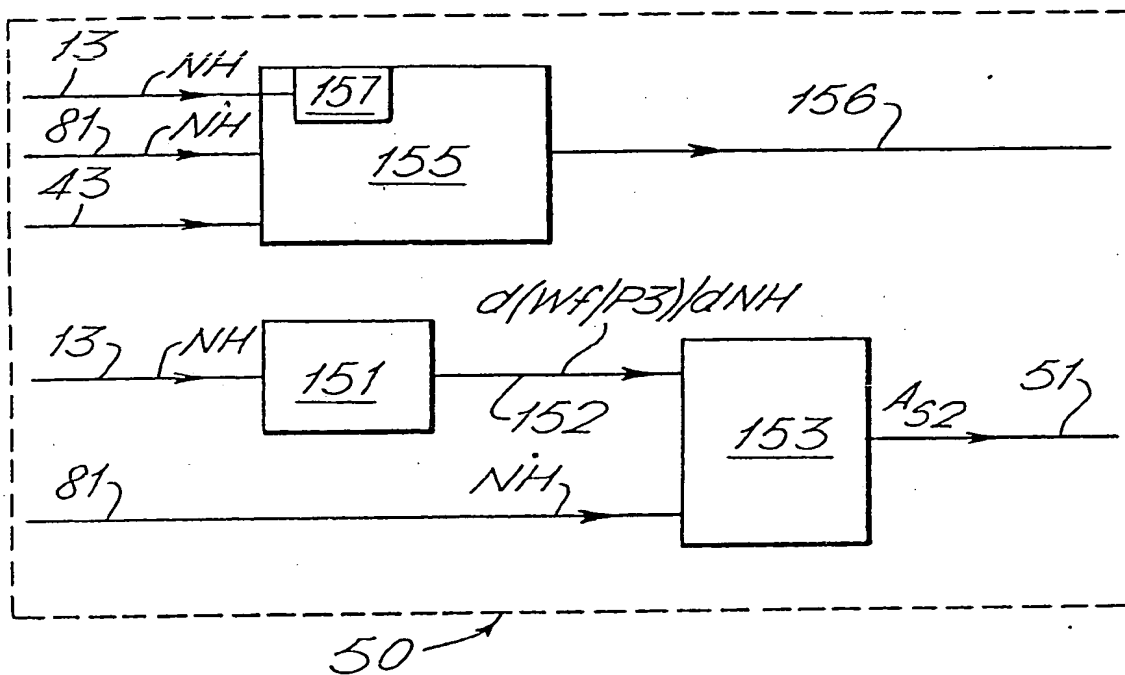


Fig.4.



THIS PAGE BLANK (USPTO)